

城镇给排水工程设计案例专栏

沈凌, 张宏, 周合喜. 土地集约型高排放标准半地下水水质净化厂设计[J]. 净水技术, 2025, 44(2): 174-180.

SHEN L, ZHANG H, ZHOU H X. Design of intensive land-use semi-underground WWTP under stricter discharge standard[J]. Water Purification Technology, 2025, 44(2): 174-180.

土地集约型高排放标准半地下水水质净化厂设计

沈凌¹, 张宏¹, 周合喜^{1,2,*}

(1. 深圳市水务<集团>有限公司, 广东深圳 518000; 2. 清华大学环境学院, 北京 100084)

摘要 【目的】为破解超大城市水环境基础设施用地矛盾,探索高密度建成区规划建设厂城融合的水质净化厂成为补齐城镇污水收集处理设施短板的重要举措。【方法】布吉水质净化厂三期工程设计规模为15万m³/d,设备近期按照10万m³/d配置,采用双层覆盖半地下式结构布置,上盖建设附属设施和城市社区公园。该工程污水处理采用多段缺氧/好氧(AO)+磁混凝+精密过滤,满足地表水Ⅳ类标准要求,臭气处理遵循“市民无感”的严苛排放标准,采用全过程隔音降噪处理,打造“无声”水质净化厂。工程采用立体开发建设,打造土地利用典范。厂区外观设计去工业化,将上盖打造为服务周边居民的城市社区公园。通过建立多点多线超越和处理单元串联改并联运行模式及放大设计管渠断面,保障生产运行稳定。【结果】工程投入商业运营以来,出水水质全面优于地表水Ⅳ类标准(总氮≤10 mg/L),臭气、污泥处理效果优于设计要求。【结论】该工程有效破解用地矛盾和邻避效应,为土地资源高度紧张的地区建设水环境基础设施提供借鉴和参考。

关键词 土地集约型 高排放标准 半地下式 多段缺氧/好氧(AO) 邻避效应

中图分类号: TU992 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-0177(2025)02-0174-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.02.020

Design of Intensive Land-Use Semi-Underground WWTP under Stricter Discharge Standard

SHEN Ling¹, ZHANG Hong¹, ZHOU Hexi^{1,2,*}

(1. Shenzhen Water <Group> Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;

2. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract [Objective] In order to solve the contradiction of land use for water environment infrastructure in megacities, the planning and construction of wastewater treatment plants (WWTPs) integrating factories and cities in high-density built-up areas has become an important measure to make up for the shortcomings of urban wastewater collection and treatment facilities. [Methods] The design scale of Buji WWTP phase III is 150 000 m³/d, and the equipment is recently configured according to 100 000 m³/d. The double-covered semi-underground structure is arranged, and the ancillary facilities and urban community park are built on the upper cover. The multi-stage anoxic-oxic (AO), magnetic coagulation and secondary filter are adopted to meet the surface water class IV standard in wastewater treatment. Odor treatment is required to follow the strict emission standards of “no sense to the public”. The whole process of sound insulation and noise reduction treatment are applied to create a “silent” WWTP. The three-dimensional development and construction are adopted to create a model of land use. Deindustrialization is applied in the exterior design of the WWTP, where the upper cover is built into an urban community park serving the surrounding residents. The operation mode of multi-point multi-line bypass and processing unit in series to parallel, and the section pipe and channel enlargement design are applied to

[收稿日期] 2024-02-08

[基金项目] 深圳市科技创新委员会可持续发展专项(KCXFZ202002011008448)

[作者简介] 沈凌(1979—),男,硕士,工程师,主要从事污水处理设施运营和设备管理工作,Email:cipher1011@126.com。

[通信作者] 周合喜(1989—),男,博士,高级工程师,主要从事城镇污水处理与再生利用、工业废水处理与资源化及污泥处理处置研究工作,E-mail:hexi725@163.com。

ensure the stable operation. [Results] Since the project is put into commercial operation, the effluent quality is supper to the surface water class IV standard (total nitrogen ≤ 10 mg/L) and the treatment effect of odor and sludge are better than the design requirement. [Conclusion] The land use contradiction and NIMBY effect are broken effectively in this project, which will provide a reference for the construction of water environment infrastructure in areas with high land resources shortage.

Keywords intensive land-use stricter discharge standard semi-underground multi-stage anaerobic/oxic(AO) NIMBY effect

随着城市化进程的加快,我国城市水环境治理已由污染总量控制转向河湖环境质量控制阶段^[1]。2015年4月,国务院办公厅印发《国务院关于印发水污染防治行动计划的通知》,提出有条件的地区要推进初期雨水收集、处理和资源化利用。“十三五”以来,深圳市开展了大规模城镇水环境基础设施建设,加快补齐了城镇污水收集处理设施短板,在全国率先实现全域消除黑臭水体^[2],全面提升雨季溢流污染控制水平,特别是初期雨水治理。

然而,深圳作为国内超大城市,土地资源严重不足,土地紧缺成为制约城镇水环境基础设施规划布局的重要障碍。2023年12月,国家发展改革委等三部委印发《关于推进污水处理减污降碳协同增效的实施意见》^[3],明确土地资源紧缺的城市可建设全地下/半地下式污水处理厂。该方案的出台,为国内土地资源紧缺、环境要求高的城市指明了方向。

相比于全地下式建设型式,半地下式污水处理厂建设投资、运营成本较低^[4],且能较好地融合周边环境。郝晓地等^[5]对地下式污水处理厂全生命周期综合效益进行评价,结果表明,相较地上式污水处理厂,地下式在环境影响、基建投资、生态效益3方面的综合负面影响高出20%。为此,深圳市进行了大胆探索,在高密度建成区的社区中心规划建设现代化的水质净化厂,力求以最小的代价,破解用地矛盾和邻避效应,探索出一条厂城融合、变“邻避”为“邻喜”的“深圳经验”。本文以布吉水质净化厂三期工程为例,深入剖析了设计方案和设计特色,为土地资源高度紧张的地区建设水质净化厂提供参考。

1 工程概况

布吉水质净化厂位于深圳市龙岗区布吉街道,是削减布吉河流域污染物排放的主要处理设施,目前已建布吉水质净化厂一、二期工程,现状总处理能力为25万 m^3/d ,可以满足旱季污水处理量的需求。随着深圳河流域治水提质工作进入全面决胜阶段,布吉河作为深圳河的一级支流,雨季溢流污水和初期雨水处理是目前流域水环境进一步改善的主要工

程措施之一。因此,迫切需要建设布吉水质净化厂三期工程(以下简称布吉三期工程)。

布吉三期工程位于龙岗区西环路东侧、德兴花园小区西侧、泽润华庭南侧、规划环德路北侧空地,占地面积为0.0309 km^2 ,主要服务吉华街道、布吉街道和南湾街道丹竹头片区,服务面积约为25.1 km^2 ,服务人口约为110万。布吉三期工程设计规模为15万 m^3/d ,土建一次性建成,设备近期按照10万 m^3/d 配置,综合变化系数为1.5,按2.0进行复核,于2020年3月9日开工建设,2022年1月26日正式投入商业运营。

该工程采用双层覆盖半地下式结构布置,在水质净化厂构(建)筑物组团上盖建设城市社区公园^[6]。一方面,高标准建设的水质净化厂,将助力深圳河流域雨季水质稳定达标,对实现污水全处理、进一步削减污染物排放量、改善深圳河流域水环境具有重要意义;另一方面,建成后的上盖公园还能为市民提供一个文化休憩、亲水科普、运动健身的全开放公共空间绿地,使水质净化厂更好地融入了周边居民的生活当中。

2 技术方案

2.1 设计进出水水质

该工程设计进水水质结合布吉水质净化厂一、二期工程设计进水水质考虑,设计出水水质执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)IV类标准[总氮(TN)除外]。设计进出水水质如表1所示。

表1 设计进出水水质(单位:mg/L)

Tab. 1 Design of Water Quality of Influent and Effluent (Unit: mg/L)

水质指标	进水	出水
化学需氧量(COD _{Cr})	300	30
五日生化需氧量(BOD ₅)	150	6
氨氮	35.0	1.5
TN	45	10
总磷(TP)	5.0	0.3
固体悬浮物(SS)	250	8

2.2 工艺选择

由于该工程出水 TN、TP 和 SS 要求较高,因此 TN、TP 和 SS 是本次工程设计的重难点。本次工艺选择如下。(1)对 TN 的去除,本工程设计进水 TN 质量浓度为 45 mg/L,出水 TN 质量浓度为 10 mg/L, TN 去除率要求不低于 77.8%。进水 $BOD_5/TN = 3.33$,碳源基本满足需要。因此,二级生物处理需选择脱氮效率高的工艺。根据多段缺氧/好氧(AO)工艺原理,理论最大氮去除率可达 90%以上。此外,深圳市近几年新(扩)建多座大型水质净化厂,二级生物处理均采用多段 AO 工艺,实际运行效果表明,出水 TN 质量浓度稳定低于 10 mg/L 要求。因此,本次二级生物处理采用多段 AO 工艺,实际运行中,可根据进出水水质灵活调整工艺参数以满足出水标准要求。(2)对 TP 和 SS 的去除,本工程设计出水 TP 质量浓度为 0.3 mg/L,需要辅助化学除磷处理。本工程设计出水 SS 质量浓度为 8 mg/L,而二级生物处理(非膜生物反应器)难以满足出水标准要求,需要增加处理单元。结合该工程用地紧张的特点,本次深度处理采用磁混凝高效沉淀+精密过滤器技术方案。

2.3 污水处理工艺流程

该工程主要收集处理周边服务片区内生活污水,可生化性较好,考虑到出水水质要求较高,参照深圳市内同类项目经验^[7],采用预处理、二级生物处理和深度处理相结合的处理工艺。预处理选用细格栅+曝气沉砂池;二级生物处理选用三段式 AO 生物池+矩形周进周出二沉池;深度处理选用磁混凝高效沉淀池+精密过滤器+紫外消毒渠。污泥处理工艺选用均质池+离心脱水+低温冷凝干化。该工程污水处理工艺流程如图 1 所示。

厂区总平面图布置和俯瞰如图 2 和图 3 所示。

2.4 臭气处理目标

该工程臭气处理执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)厂界(防护带边缘)废气排放最高允许浓度二级标准,具体臭气排放允许浓度如表 2 所示。

2.5 污泥处理目标

根据深圳市相关要求,该工程污泥处理后含水率不高于 40%。

3 主要构筑物设计

3.1 污水处理构筑物

3.1.1 细格栅

设置内进流非金属板式细格栅近期为 4 台,设

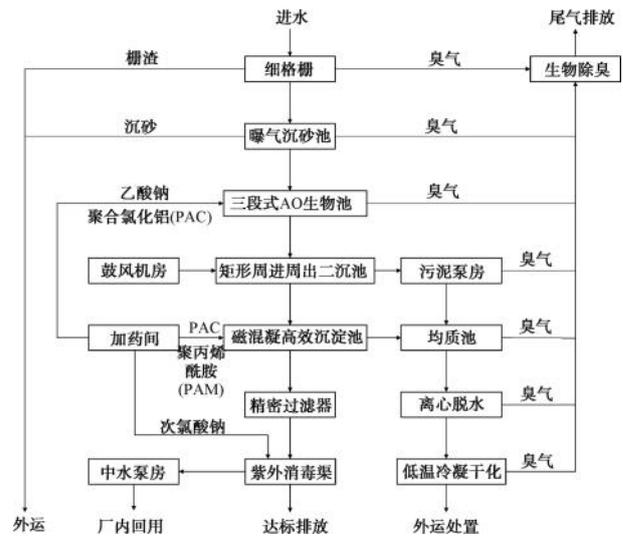
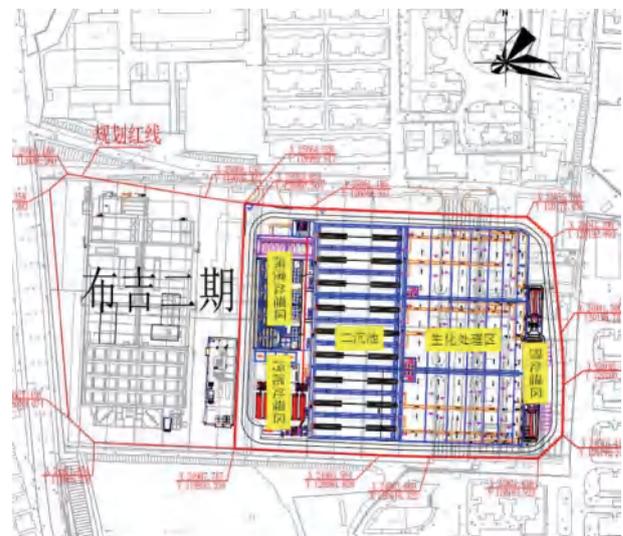


图 1 该工程污水处理工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Project Wastewater Treatment



注:图中单位为 m。

图 2 厂区总平面布置

Fig. 2 General Layout of the WWTP



图 3 厂区俯瞰图

Fig. 3 Aerial View of the WWTP

表2 臭气排放最高允许浓度

Tab. 2 Maximum Permissible Concentration of Odor Emission

项目	二级标准
$\text{NH}_3/(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	1.5
$\text{H}_2\text{S}/(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	0.06
臭气浓度	20
CH_4 (厂区最高体积分数)	1%

计格栅栅条间隙为 5 mm,过栅流速为 0.9 m/s,栅宽为 1.6 m,电机功率为 1.1 kW;配套设置栅渣压榨机近期为 2 台,电机功率为 2.2 kW。

3.1.2 曝气沉砂池

曝气沉砂池 3 格,与细格栅合建,设计平均时停留时间为 10 min,曝气量为 $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^3$;设置桥式吸砂机近期 2 台,单台功率为 0.75 kW;螺旋砂水分离器近期为 2 台,单台处理能力为 25 L/s,电机功率为 0.75 kW;一体化浮渣分离机 4 套,单套处理能力为 $150 \text{ m}^3/\text{d}$,电机功率为 1.5 kW。

3.1.3 三段式 AO 生物池

生物池设置 3 座,单座设计处理规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。单池有效容积为 $30\ 125 \text{ m}^3$,有效水深为 9.7 m;设计总水力停留时间为 15.2 h,其中厌氧区为 1.2 h,缺氧 I、II、III 区水力停留时间分别为 1.89、2.33、2.78 h,好氧 I、II、III 区水力停留时间分别为 1.89、2.33、2.78 h;设计好氧 III 区污泥质量浓度为 $4\ 200 \text{ mg}/\text{L}$,污泥龄为 10.6 d;设计污泥负荷为 $0.046 \text{ kg BOD}_5/(\text{kg MLSS}\cdot\text{d})$,容积负荷为 $0.251 \text{ kg BOD}_5/(\text{m}^3\cdot\text{d})$;设计混合液回流比为 0~100%,污泥回流比为 50%~120%。厌氧区近期配置潜水搅拌机 12 台(10 用 2 库备),单台功率为 3.7 kW;缺氧区近期配置推流器 26 台(24 用 2 库备),单台功率为 2.3 kW;好氧区配置板条式微孔曝气器,配套精确曝气系统,最大气水比为 7:1。好氧区近期配置硝化液回流泵 9 台(8 用 1 库备),变频控制,单台流量为 $1\ 042 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 1.0 m,功率为 7.5 kW。

3.1.4 鼓风机房

鼓风机房 1 座,选用单级离心风机,近期配置 4 台(3 用 1 备),变频控制,单台风量为 $9\ 600 \text{ m}^3/\text{h}$,出口风压为 0.105 MPa,电机功率为 350 kW。

3.1.5 矩形周进周出二沉池

矩形周进周出二沉池设置 2 座,每座分 9 格(设备安装近期 12 格)。设计沉淀时间为 4.78 h,表面

水力负荷为 $0.95 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,有效水深为 4.5 m。配置链条式刮泥机,数量为 12 台,单台功率为 0.55 kW;配套电动撇渣管 12 台,单台功率为 0.55 kW;配置一体化浮渣分离机 4 套,单套处理能力为 $150 \text{ m}^3/\text{d}$,单套功率为 0.75 kW。

3.1.6 污泥泵房

污泥泵房设计单座处理规模为 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,共 2 座。近期配置污泥回流泵 6 台(4 用 2 备),变频控制,单台流量为 $1\ 563 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 6.5 m,功率为 50 kW;配置排泥泵 4 台(2 用 2 备),变频控制,单台流量为 $70 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 16 m,功率为 7.5 kW。

3.1.7 磁混凝高效沉淀池

磁混凝高效沉淀池设置 2 座,每座 2 格(设备安装近期 3 格),设计混凝池平均停留时间为 3.69 min,磁粉混合池平均停留时间为 3.69 min,絮凝池平均停留时间为 8.85 min;斜板区平均表面负荷为 $11.51 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,峰值表面负荷为 $17.27 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。设计 PAC($10\% \text{ Al}_2\text{O}_3$)最大投加量为 $73 \text{ mg}/\text{L}$,PAM 最大投加量为 $1.5 \text{ mg}/\text{L}$,磁粉最大投加量为 $5 \text{ mg}/\text{L}$ 。

混凝池快速搅拌机近期配置 3 台,单台功率为 7.5 kW;磁粉混合池快速搅拌机近期配置 3 台,单台功率为 7.5 kW;絮凝池低速搅拌机近期配置 3 台,单台功率为 11 kW;沉淀区中心传动刮泥机近期配置 3 台,单台功率为 0.37 kW;磁介质回流泵近期配置 5 台(3 用 2 备),变频控制,单台流量为 $110 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程为 12 m,功率为 11 kW;排泥泵近期配置 5 台(3 用 2 备),变频控制,单台流量为 $20 \text{ m}^3/\text{h}$,功率为 4.0 kW;磁泥剪切机近期配置 3 套,单套流量为 $20 \text{ m}^3/\text{h}$,功率为 3.0 kW;磁粉回收机近期配置 3 套,单套流量为 $20 \text{ m}^3/\text{h}$,功率为 2.2 kW。

3.1.8 精密过滤器

精密过滤器近期设置 7 台,单台处理能力为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,过滤精度为 $10 \mu\text{m}$,每台设备配套反冲洗水泵,功率为 4.75 kW。

3.1.9 紫外消毒渠

紫外消毒渠设置 3 条渠道,紫外灯管与水流方向平行排列,设计进水 SS 质量浓度为 $10 \text{ mg}/\text{L}$,出水粪大肠菌群控制目标 $\leq 1\ 000 \text{ 个}/\text{L}$,光波最低穿

透率为 65%, 紫外剂量 $\geq 28.2 \text{ mJ/cm}^2$ 。近期设置紫外灯管 272 根, 设备总功率为 185 kW, 配套 2 套水位自动控制系统。

3.1.10 中水泵房

中水泵房设置 1 座, 为该工程提供日常生产用水。配置潜污泵 2 台(1 用 1 备), 变频控制, 单台流量为 $110 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 25 m, 功率为 13.5 kW。

3.1.11 加药间

加药间布置乙酸钠、次氯酸钠、PAC 和 PAM 投加系统。乙酸钠(30%)最大投加能力为 40 mg/L , 次氯酸钠最大投加能力为 5 mg/L , PAC 最大投加能力为 90 mg/L , PAM 最大投加能力为 1.5 mg/L 。乙酸钠加药泵近期配置 3 台(2 用 1 备), 单台流量为 350 L/h , 扬程为 30 m, 功率为 0.37 kW; 次氯酸钠加药泵近期配置 3 台(2 用 1 备), 单台流量为 450 L/h , 扬程为 30 m, 功率为 0.37 kW。生物池 PAC 加药泵近期配置 3 台(2 用 1 备), 单台流量为 300 L/h , 扬程为 30 m, 功率为 0.37 kW; 磁混凝高效沉淀池 PAC 投加磁力泵模组近期配置 1 套(每套含 2 台磁力泵, 1 用 1 备), 单台流量为 $5 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 20 m, 功率为 0.75 kW; 配套 PAC 卸料泵近期配置 2 台(1 用 1 备), 单台流量为 $50 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 22 m, 功率为 5.5 kW。PAM 投加螺杆泵近期配置 4 台(3 用 1 备), 单台流量为 $3 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 20 m, 功率为 1.5 kW; 配套 PAM 制备系统 2 套, 制备质量分数为 0.2%, 制备能力为 4000 L/h 。

3.2 污泥脱水系统

污泥处理采用“均质+离心脱水+低温冷凝干化+污泥干料仓”工艺流程, 设计污泥处理量为 30 t Ds/d , 进泥含水率为 99.7%, 出泥含水率 $\leq 40\%$ 。

污泥均质池 4 座, 单座平面尺寸为 $6 \text{ m} \times 6 \text{ m}$, 有效水深为 6.0 m; 配套推流器 4 台, 功率为 1.5 kW。污泥脱水干化车间设置离心脱水机 4 台(3 用 1 备), 单台流量为 $70 \text{ m}^3/\text{h}$, 功率为 $(75+22) \text{ kW}$, 设计出泥含水率为 80%; 配套进泥泵 4 台(3 用 1 备), 单台流量为 $80 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 40 m, 功率为 7.5 kW; PAM 制备系统 2 套, 制备能力为 6000 L/h , 制备质量分数为 0.1%~0.4%, 功率为 2.8 kW, 加药泵 4 台(3 用 1 备), 单台流量为 $4.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 60 m, 功率为 2.2 kW; 螺杆泵 4 台, 单台流量为 $4.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 20 m, 功率为 15 kW; 污泥切割机 4 台(3 用 1 备), 单台流量为 $80 \text{ m}^3/\text{h}$, 功率为 3.5 kW; 湿泥料

仓 3 套, 单套料仓容积为 40 m^3 。

配置污泥低温冷凝干化机 5 台, 单台标准除水量 $\geq 21.6 \text{ t/d}$, 设备装机功率为 330 kW, 24 h 连续运行, 设计出泥含水率 $\leq 35\%$ 。配套冷却塔 3 台, 单台流量为 $100 \text{ m}^3/\text{h}$; 汇总链条输送机 2 台, 输送量为 $8.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 功率为 7.5 kW, 输送长度为 23.8 m; 链条输送机 2 台, 输送量为 $10 \text{ m}^3/\text{h}$, 功率为 5.5 kW, 输送长度为 18.5 m, Z 字型; 干泥料仓 2 套, 单套料仓容积为 60 m^3 。

3.3 除臭系统

除臭采用生物除臭为主体, 并辅以预处理及深度处理。预处理和生化区采用“喷淋洗涤+生物除臭一体化装置+干式吸附”, 污泥处理区采用“除尘+光氧化+喷淋洗涤+生物除臭一体化装置+干式吸附”。设置 2 套除臭系统, 分别为预处理和生化区 1#除臭系统, 设计风量为 $130000 \text{ m}^3/\text{h}$; 污泥处理区 2#除臭系统, 设计风量为 $140000 \text{ m}^3/\text{h}$; 臭气经处理后, 排放至上盖公园地面 15 m 以上。

4 设计特色

(1) 破解邻避效应, 实现厂城融合

该工程位于高密度建成区, 周边环境环绕居民区、商业办公楼、学校等环境敏感目标, 项目用地红线与周边建筑的最近距离仅为 30 m, 邻避问题突出。因此, 在项目策划之初, 提出“协调、创新、绿色、开放、共享”的发展理念, 采取系列有效措施, 力图破解邻避效应。

厂区外观采用去工业化设计, 结合水城相融、厂城共生理念, 将水质净化厂隐匿在城市社区公园。采用双层覆盖半地下式结构布置, 将上盖打造为服务周边居民的城市社区公园。污水处理工艺采用先进的“三段式 AO 工艺”, 出水水质满足地表水 IV 类水质标准要求。臭气处理遵循“市民无感”的严苛排放标准, 在传统生物除臭工艺基础上, 增加光催化氧化和干式吸附工艺组合; 同时, 对厂区臭源进行双层加罩封闭, 并配备缓冲区分布机, 除臭风量较一般设计提高 20%, 整体空间能够形成负压环境, 有效避免厂内生产区域臭气外溢。此外, 整个操作层进行玻璃幕墙全封闭, 不仅强化了除臭封闭效果, 也大大提升了厂区景观质量。结合厂内噪声分布, 采用全过程隔音降噪处理方式, 打造“无声”水质净化厂。采用隔音罩、消声器、双层隔音玻璃、隔音棉墙

面等隔音措施,保证周边环境不受噪声影响,实现厂城融合。

(2) 立体开发建设,打造土地利用典范

该工程占地面积为 0.030 9 km²,单位用地指标仅为 0.002 06 km²/(万 m³·d⁻¹),在深圳市运营的 45 座水质净化厂中,单位用地指标最小。在空间设计上,本项目具有高效紧凑的特点,通过将全厂构(建)筑物划分为一个组团,采用组团化结构设计,高效利用三维空间,在三维空间层面上,充分利用每一处空间,构建上中下三层立体空间布局。

该项目采用半地下建筑型式,负一层布置构筑物池体和管廊,地面一层布置构筑物操作层,充分利用地面操作层空间,布置附属设施和除臭设施;上盖面积的 1/4 布置为综合办公楼和生活设施,其余建设为城市社区公园,对外开放。

为极致利用平面空间和程空间,减少平面用地需求,在工艺选择上,该项目采用了矩形周进周出二沉池、磁混凝高效沉淀池、精密过滤器等节地工艺;在高程布置上,该项目生物池水深提高到 8.9 m。

(3) 加强安全管理,保障生产运行稳定

该工程结合南方城市雨季水质、水量特点^[8],建立了多点(生物池 I、II 段,精密过滤器)多线超越和处理单元(磁混凝高效沉淀池和精密过滤器)串联改并联的运行模式,充分发挥水质净化厂的处

理能力。同时,为保证构筑物断面过水能力,放大设计管渠断面,按照综合变化系数为 2.0 的要求进行复核。

该工程内涝防治设计标准为百年一遇,为国内现行内涝防治最高标准。此外,厂区平面布置为中心组团,四周环厂道路设计为单向纵坡,能够快速排干路面雨水,避免内涝发生。为提高水质净化厂运行管理效率和生产安全性,减少运营风险和人员投入,该项目厂区覆盖防火、防毒、防雷、防触电、防淹等应急监控系统和安全措施,同时安排运行人员日常巡检,及时化解安全隐患。

5 运行效果及成本分析

布吉三期工程投入商业运营以来,运行效果良好,设计出水水质全面优于设计标准,投运近一年实际进出水水质如表 3 所示。从表中可以看出,进水 COD_{Cr}、BOD₅、氨氮、TN、TP、SS 平均质量浓度分别为 261、107.6、28.49、36.14、3.92、196 mg/L,出水平均质量浓度分别为 8、2.0、0.10、4.20、0.10、3.0 mg/L。实际进水水质接近设计水质,表明该项目设计水质选择合理。出水水质指标远优于排放标准要求,对于深圳河流域污染减排和水质提升起到重要作用。该工程臭气处理效果显著优于厂界二级标准要求,实现“市民无感”。污泥处理后含水率低于 40%,满足设计要求,出厂污泥外运至电厂进行焚烧,100%无害化处置。

表 3 近一年实际进出水水质(单位:mg/L)

Tab. 3 Actual Influent and Effluent Quality in the Past Year (Unit: mg/L)

项目		COD _{Cr}	BOD ₅	氨氮	TN	TP	SS
进水水质	最大值	673	289.5	45.80	71.80	15.86	1 105
	最小值	82	32.9	6.08	12.00	0.94	25
	平均值	261	107.6	28.49	36.14	3.92	196
出水水质	最大值	15	3.8	0.71	8.90	0.21	5.0
	最小值	2	0.6	0.01	0.72	0.01	0.5
	平均值	8	2.0	0.10	4.20	0.10	3.0

该工程建设总投资为 79 633.01 万元,其中工程费用(建筑工程费、安装工程费和设备购置费)为 66 127.89 万元,工程建设其他费用为 7 168.22 万元,预备费(基本预备费和涨价预备费)为 3 664.81 万元,建设期贷款利息为 2 672.10 万元。单位总成本为 2.853 元/m³,单位经营成本为 1.779 元/m³,其中电费为 0.356 元/m³(电耗为 0.547 kW·h/m³,

含污泥处理),药剂费为 0.297 元/m³,人工费为 0.115 元/m³,污泥外运及处置费为 0.209 元/m³。

6 结语与讨论

①通过双层覆盖半地下式结构布置和去工业化设计,协同水、泥、气和声处理,有效破解用地矛盾和邻避效应,实现了厂城融合,为城市高密度建成区水环境基础设施建设探索出一条可复制、可推广的经验。

②通过建立多点多线超越和处理单元串联改并联的运行模式,同时放大设计管渠断面,能够确保构筑物断面超量过水能力,实现雨季水量兜底功能,保障河流断面水质达标。

③通过构筑物组团化立体设计,极致利用平面空间,打造土地高效堆叠利用典范,为土地集约型水质净化厂建设提供了可借鉴的样板。

④从空间布局和操作环境要求来看,土地集约型水质净化厂建设污泥处理工艺建议优选脱水干化一体化设备。

参考文献

- [1] 王殿常, 赵云鹏, 陈亚松, 等. 我国城市水环境治理的现状与困境分析[J]. 给水排水, 2023, 59(11): 25-31.
WANG D C, ZHAO Y P, CHEN Y S, et al. Analysis of present situation and dilemma for treatment of urban water environment of China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 59(11): 25-31.
- [2] 吴亚男, 任心欣, 高玉枝, 等. 基于小流域水环境治理探索雨季溢流污染防治的深圳实践[J]. 环境工程, 2023, 41(12): 75-78.
WU Y N, REN X X, GAO Y Z, et al. Shenzhen's practice of pollution prevention and control of rainfall overflow based on water environment governance in small watershed [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(12): 75-78.
- [3] 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国生态环境部. 关于推进污水处理减污降碳协同增效的实施意见[EB/OL]. (2023-12-12) [2024-02-08]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202312/content_6923468.htm.
National Development and Reform Commission of the People's Republic of China, Ministry of Housing and Urban-Rural

- Development of the People's Republic of China, Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Implementation opinions on promoting synergistic efficiency of pollution reduction and carbon reduction in wastewater treatment [EB/OL]. (2023-12-12) [2024-02-08]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202312/content_6923468.htm.
- [4] 罗穆喜, 朱宇峰. 山坡半地下式污水处理厂总体设计方案[J]. 净水技术, 2020, 39(11): 34-38.
LUO M X, ZHU Y F. Overall design scheme of semi-underground WWTP at hillside [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(11): 34-38.
- [5] 郝晓地, 于文波, 王向阳, 等. 地下式污水处理厂全生命周期综合效益评价[J]. 中国给水排水, 2021, 37(7): 1-10.
HAO X D, YU W B, WANG X Y, et al. Life cycle comprehensive efficiency assessment on underground wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(7): 1-10.
- [6] 戴仲怡, 李瑞成, 王建兴. 多段强化脱氮 A²/O 工艺用于大型半地下式污水处理厂[J]. 中国给水排水, 2017, 33(16): 75-78.
DAI Z Y, LI R C, WANG J X. Application of multi-stage A²/O process for enhanced nitrogen removal in large semi-underground wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(16): 75-78.
- [7] 王雪, 陈颖童, 戴仲怡. “花园式”大型半地下智慧水质净化厂设计[J]. 中国给水排水, 2023, 39(8): 73-77.
WANG X, CHEN Y T, DAI Z Y. Design of “garden style” large-scale semi-underground intelligent wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(8): 73-77.
- [8] 张岩. 上海中心城区城镇污水水质特性分析[J]. 净水技术, 2023, 42(11): 101-111.
ZHANG Y. Analysis of influent quality characteristics of urban wastewater in Shanghai central districts [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(11): 101-111.

(上接第 131 页)

- [14] JOHNES P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: The export coefficient modelling approach [J]. Journal of Hydrology, 1996, 183(3): 323-349.
- [15] 王星雨, 马艳. 基于清单分析法的河北省农业面源污染时空特征[J]. 黑龙江农业科学, 2023(11): 113-120.
WANG X Y, MA Y. Spatiotemporal characteristics of agricultural non-point source pollution in Hebei Province based on inventory analysis method [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2023(11): 113-120.
- [16] 杨静仁, 王振旗, 沈根祥. 上海市畜禽养殖业污染物排放标

- 准浅析[J]. 环境保护科学, 2024, 50(2): 42-48.
YANG J R, WANG Z Q, SHEN G X. Analysis of the discharge standards of pollutants for livestock and poultry breeding in Shanghai [J]. Environmental Protection Science, 2024, 50(2): 42-48.
- [17] 吴伟峰, 洪宏, 胡昕晔. 上海农村生活污水处理的实践与思考[J]. 中国水利, 2018(5): 42-44.
WU W F, HONG H, HU X Y. Sewage treatment in rural areas of Shanghai municipality [J]. China Water Resources, 2018(5): 42-44.